

EOR potencijal naftnih polja u Hrvatskoj

N. Smontara, V. Bilić-Subašić

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Svako naftno ležište određeno je velikim brojem karakteristika: ležišni tlak i temperatura, svojstva ležišne stijene, tip nafte te njezin sastav, gustoća i viskoznost. Posljedica tog mnoštva varijabli je velika raznolikost naftnih ležišta. Zbog toga nisu sva naftna ležišta podobna za primjenu EOR-a i nije svaka EOR metoda primjenjiva na svako ležište.

Postupak inicijalnog EOR pregleda naftnih polja uključuje popisivanje svih bitnih svojstava ležišta i ležišnih fluida te njihovu usporedbu s kriterijima primjenjivosti raznih EOR metoda. Ovo je prvi korak u definiranju EOR potencijala na nekom prostoru, koji će brzo istaknuti sva perspektivna polja/ležišta za EOR te maknuti fokus s nepodobnih kandidata.

Takav inicijalni pregled proveden je na svim značajnim naftnim poljima u Hrvatskoj. Pritom su popisane ključne karakteristike ležišta i fluida za sve hidrodinamičke jedinice s utvrđenim rezervama nafte većim od $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (iznimno je obuhvaćeno i nekoliko manjih HDJ) te su uspoređene s publiciranim empirijskim kriterijima primjenjivosti EOR metoda.

U ovom su radu prikazani rezultati inicijalnog EOR pregleda hrvatskih naftnih polja. Spomenutim pregledom utvrđen je ukupan EOR potencijal u Hrvatskoj i definirane su primjenjive EOR metode.

Ključne riječi: inicijalni EOR pregled, povećanje iscrpka, Hrvatski EOR potencijal

1. Uvod

EOR (Enhanced Oil Recovery) je proces povećanja iscrpka nafte utiskivanjem fluida koji se ne nalaze prirodno u ležištu. Povećanje iscrpka posljedica je manipulacije kemijskih i fizikalnih interakcija u naftnim ležištima na način koji unaprjeđuje povoljne uvjete crpljenja.

Konvencionalnim metodama proizvodnje nafte moguće je prosječno iscrpiti oko 35% utvrđenih rezervi nafte. To znači da u trenutku prekida proizvodnje na nekom polju, u ležištu preostaje oko 65% utvrđenih rezervi nafte, što je velik i atraktivan cilj za primjenu EOR metoda, jer one imaju potencijal za prekategorizaciju nepridobivih rezervi nafte u bilančne rezerve.

Može se reći da je EOR metode za produljenje proizvodnog vijeka iscrpljenih ili nerentabilnih naftnih polja često primjenjuju u tercijarnoj fazi iskorištavanja naftnih ležišta, nakon što proizvodnja konvencionalnim i manje riskantnim metodama, kao što su primarna proizvodnja i zavodnjavanje, postane nerentabilna zbog male proizvodnosti bušotina i visokog udjela vode u proizvodnji. No može se koristiti i u sekundarnoj fazi iskorištavanja umjesto zavodnjavanja ili u primarnoj fazi iskorištavanja, kod ležišta s teškom naftom.

Sve EOR metode podrazumijevaju utiskivanje nekog fluida u ciljano ležište. Ukupna djelotvornost bilo kojeg procesa utiskivanja fluida u ležište, s ciljem istiskivanja nafte, određena je umnoškom makroskopske i mikroskopske djelotvornosti istiskivanja.

EOR se oslanja na tri temeljna mehanizma:

1. Redukcija međupovršinske napetosti između ležišne nafte i utiskivanog (istiskujućeg) fluida s ciljem povećanja kapilarnog broja i povećanja mikroskopske djelotvornosti istiskivanja.
2. Smanjenje omjera pokretljivosti fluida radi povećanja makroskopske djelotvornosti istiskivanja nafte iz

ležišta. To se postiže povećanjem viskoznosti istiskujućeg fluida, smanjenjem relativne propusnosti istiskujućeg fluida te smanjenjem viskoznosti nafte koja se istiskuje.

3. Smanjenje viskoznosti nafte, odnosno, povećanje pokretljivosti nafte dovođenjem toplinske energije u ležište, radi olakšanja pritjecanja nafte u proizvodne bušotine.

EOR metode definirane su vrstom fluida koji se utiskuje u ciljano ležište te se mogu svrstati u četiri kategorije:

1. Metode utiskivanja plinova u uvjetima miješanja

- uključuju metode utiskivanja dušika/dimnih plinova, plinovitih ugljikovodika i CO_2
- oslanjaju se na smanjenje ili poništavanje međupovršinske napetosti između ležišne nafte i utisnutih fluida

2. Kemijske metode

- uključuju metode utiskivanja polimera te micelarno-polimernih i alkalnih otopina
- oslanjaju se na dodavanje jednog ili više kemijskih aditiva utisnom fluidu kako bi se postiglo smanjenje ili poništavanje međupovršinske napetosti između ležišne nafte i istiskujućeg fluida i/ili smanjenje omjera pokretljivosti između njih.

3. Termičke metode

- uključuju metode cikličkog i kontinuiranog utiskivanja pare te sagorijevanje nafte u ležištu.
- oslanjaju se na zagrijavanje ležišne nafte uvođenjem toplinske energije u ležište i na taj način smanjenje njene viskoznosti i olakšanje protoka kroz ležište.

4. Mikrobiološke metode

- oslanjaju se na utiskivanje mikroorganizama u ležište, koji u reakciji s ležišnim fluidima generiraju surfaktante.

EOR projekti su potencijalno veoma profitabilni te se samo velike naftne kompanije, sa značajnim investicijskim kapacitetom i ljudskim potencijalom, mogu upustiti u njih. INA je u smislu implementacije EOR-a na vlastitim naftnim poljima poduzela određene aktivnosti. Nakon opsežnih laboratorijskih ispitivanja uspješnosti istiskivanja nafte s CO₂ u periodu između 1978. i 1991. godine i uspješnog pilot projekta utiskivanja CO₂ na naftnom polju Ivanić u periodu od 2003. do 2006. godine, u zadnje 3 godine izgrađena su sva potrebna postrojenja i objekti za provedbu EOR projekta na eksploatacijskim poljima Ivanić i Žutica (u trenutku pisanja ovog članka već se odvija probno utiskivanje CO₂ na polju Ivanić).

Na CPS Molve izgrađena je kompresorska stanica za CO₂ s tri kompresorske jedinice. U sklopu Etanskog postrojenja izgrađena je kompresorska stanica za CO₂, sustav za njegovo ukapljivanje s rashladnim tornjem i izmjenjivačima topline te pumpnom stanicom. Na kompresorskoj stanici polja Žutica izgrađen je membranski separator za izdvajanje CO₂ iz proizvedenog plina. Velika sredstva utrošena su za površinsko i podzemno opremanje bušotina za utiskivanje CO₂ u ležišta i proizvodnju nafte. Uz to, za utiskivanje ugljičnog dioksida s kompresorske stanice na Etanu, ukupno je do bušotina za utiskivanje CO₂ na poljima Ivanić i Žutica položeno više od 50 km cjevovoda, energetskih kablova i optičkih vodova. Za cijeli EOR projekt će samo do 2015. godine biti uloženo više od 500 milijuna kuna.

2. Empirijski kriteriji primjenjivosti EOR metoda

EOR metode primjenjuju se od 1959. godine. Do danas je u svijetu implementirano preko 600 projekata, a ujedno su provedena mnoga laboratorijska ispitivanja radi boljeg razumijevanja EOR mehanizama. Zbog velike količine sakupljenog teoretskog znanja i praktičnog iskustva, može se zaključiti kako je EOR već zrela tehnologija. Veći broj publiciranih članaka u naftaškoj struci bavi se kriterijima primjenjivosti EOR metoda. Jedan od najčešće citiranih skupova kriterija postavio je Martin Taber (Taber et al., 1996). Taberovi kriteriji u potpunosti su empirijski, temelje se na stvarnim projektima koji su do tad bili provedeni u svijetu te predstavljaju presjek karakteristika ležišta i fluida uspješnih EOR projekata. Stoga se mogu shvatiti i kao poželjna svojstva ležišta i ležišnih fluida za pojedine EOR metode.

Za potrebe analize opisane u ovom članku, Taberov set kriterija je modificiran i nadopunjen dodatnim karakteristikama ležišta i fluida. Usvojeni kriteriji sastoje se od 11 EOR metoda tablično suprotstavljenih s 13 svojstava ležišta i ležišnog fluida.

Spomenute karakteristika ležišta i fluida su:

- gustoća nafte u površinskim uvjetima
- trenutna viskoznost nafte u ležištu
- sastav nafte (dominantna skupina ugljikovodičnih frakcija)

- trenutno zasićenje ležišta naftom
- litologija ležišta (pješčanjak, pijesak, karbonat, breča/konglomerat)
- efektivna debljina ležišta
- prosječna apsolutna propusnost ležišta
- prosječni porozitet ležišta
- dubina ležišta
- temperatura ležišta
- nagib ležišta (više ili manje od 15°)
- postojanje i tip heterogenosti ležišta (homogeno, proslojci lapora, sekundarni porozitet)
- salinitet slojne vode

Prikaz presjeka karakteristika ležišta i fluida s EOR metodama nalazi tablici 1.

Govoreći općenito o poželjnim ležišnim svojstvima za pojedine EOR metode, proces utiskivanja plinova u uvjetima miješanja zahtijevaju lake nafte s malom viskoznošću. Takve nafte često imaju veliki udio lakih i srednjih ugljikovodika, koji su nužni za postizanje miješanja utisnutog i ležišnog fluida kroz višestruke kontakte (dinamičko miješanje). Povoljnija su tanja ležišta i/ili ležišta s većim nagibom, zbog manje vjerojatnosti gravitacijske segregacije utisnutog plina i ležišne nafte, što negativno djeluje na makroskopsku djelotvornost istiskivanja. Ujedno, ležište treba biti dovoljno duboko da u njemu bude moguće postići minimalni tlak miješanja.

Kemijske metode zahtijevaju niže temperature ležišta, kako bi se izbjegla termalna degradacija polimera. Zahtijevaju pješčenačko ležište, kako bi se smanjila adsorpcija surfaktanata i ostalih skupih kemikalija na stijenu te dovoljno veliku propusnost da se omogući dovoljan utisni kapacitet. Kemijske metode funkcioniraju i s umjereno teškim i nešto viskoznijim naftama, no još uvijek je potrebno izbjeći nepovoljan omjer pokretljivosti između istiskivanog i istiskujućeg fluida.

Kod primjena termičkih metoda, najvažnije je imati visoko zasićenje ležišta naftom, pogotovo kod metode utiskivanja pare, gdje se dobar dio proizvedene nafte na površini koristi kao gorivo za proizvodnju pare. Ujedno, ležište bi moralo biti pliće, jer se u kanalu utisnih bušotina gubi toplinska energija. Kod metode sagorijevanja nafte u ležištu, bitno je da ležište bude veće debljine, kako bi se smanjili gubici topline u susjedne formacije. Sve termičke metode primjenjuju se isključivo na ležištima s jako viskoznom naftama, koje pri originalnoj ležišnoj temperaturi otežano struje kroz ležište i sporo pritječu u bušotine te nije moguće ostvariti rentabilnu proizvodnju bez uvođenja dodatne toplinske energije u ležište s ciljem smanjenja viskoznosti nafte.

Na kraju je bitno napomenuti kako su izražena heterogenost i prirodna raspucanost ležišta nepovoljni za sve vrste EOR-a, a za neke metode su i eliminacijski kriteriji.

Treba naglasiti da su kriteriji iz tablice 1 samo smjernice za odabir optimalne EOR metode, a ne čvrsta pravila. Oni su veoma korisni za brz i jeftin kvalitativni pregled velikog broja ležišta - kandidata za EOR, prije

Tablica 1. Kriteriji primjenjivosti EOR metoda

	EOR metode										
Povoljna svojstva nafte i ležišta	Utsiskivanje dušika i/ili dimnih plinova u uvjetima miješanja	Utsiskivanje plinovitih ugljikovodika u uvjetima miješaja	Utsiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	Istiskivanje nafte plinovima u nemješljivim uvjetima	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	Sagorijevanje nafte u ležištu	Ciklično utiskivanje pare (huff and puff)	Kontinuirano utiskivanje pare (steam flooding)	SAGD (steam assisted gravity drainage)	MEOR (microbial enhanced oil recovery)
Gustoća nafte na površinskim uvjetima (kg/m ³)	< 850; prosjek 790	< 916; prosjek 820	< 922; prosjek 845	< 986; prosjek 918	< 934; prosjek 850	< 966; prosjek 896	< 1 000; prosjek 959	< 1014; prosjek 968	< 1014; prosjek 968	< 1014; prosjek 968	< 950; prosjek 875
Trenutna viskoznost nafte u ležištu (mPa*s)	< 0,4; prosjek 0,2	< 3; prosjek 0,5	< 10; prosjek 1,5	< 600; prosjek 65	< 35; prosjek 13	< 150; >10	< 5 000; prosjek 1 200	< 200 000; prosjek 4 700	< 200 000; prosjek 4 700	< 200 000; prosjek 4 700	< 50
Sastav nafte (udio pojedinih frakcija i komponenti)	visok udio lakih frakcija C ₁ -C ₇	visok udio lakih frakcija C ₇ -C ₇	visok udio srednjih frakcija C ₈ -C ₁₂	nebitno	visok udio lakih i srednjih frakcija, prisustvo organskih kis.	nebitno	visok udio teških frakcija, prisustvo asfaltena	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno
Trenutno zasićenje ležišta naftom (% pornog volumena)	> 40; prosjek 78	> 30; prosjek 71	> 30; prosjek 46	> 45; prosjek 70	> 35; prosjek 53	> 50; prosjek 64	> 50; prosjek 67	> 40; prosjek 66	> 40; prosjek 66	> 40; prosjek 66	> 50; prosječno 60
Litologija ležišta (pješčanjak / pijesak / karbonat)	pješčanjak ili karbonat	pješčanjak ili karbonat	pješčanjak ili karbonat	nebitno	pješčanjak	pješčanjak	pješčanjak, pijesak ili karbonat	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak
Efektivna debljina ležišta (m)	< 3, osim u slučaju velikog nagiba sloja ili masivnog ležišta	< 3, osim u slučaju velikog nagiba sloja ili masivnog ležišta	velik raspon povoljnih debljina	nebitno	nebitno	nebitno	> 3	> 6	> 6	> 6	nebitno
Prosječna apsolutna propusnost ležišta (mD)	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	> 10; prosjek 450	> 10; prosjek 800	> 50	> 100; prosjek 2 700	> 100; prosjek 2 700	> 100; prosjek 2 700	> 75; prosječno 190
Prosječni porozitet ležišta (%)	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15; prosjek 20, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15; prosjek 20, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15	> 20	> 20	> 20	> 12; prosječno 19, nebitno u slučaju sek. poroziteta
Dubina ležišta (m)	> 1830	> 1220	> 760	> 550	< 2750; prosjek 1000	< 2750	< 3500; prosjek 1070	< 1220; prosjek 460	< 1220; prosjek 460	< 1220; prosjek 460	< 1055; prosječno 750
Temperatura ležišta (°C)	nebitno	< 121	< 121	nebitno	< 93; prosjek 52	< 93; prosjek 60	> 38; prosjek 57	nebitno	nebitno	nebitno	< 75
Nagib ležišta > 15°	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno
Heterogenost ležišta	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Prosljoci lapora veoma nepovoljni	Sekundarni porozitet nepovoljan
Salinitet slojne vode (g/l NaCl)	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	< 100	< 100	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	< 100

Tablica 2. Usporedba karakteristika naftnog ležišta A₁ u tektonskom bloku 3 na polju Stružec s kriterijima EOR metoda

Gustoća nafte	831 kg/m ³	Litologija ležišta	Pješčanjak	Efektivna debljina	16,2 m
Viskoznost nafte	0,904 mPa*s	Dubina težišta ležišta	820 m	Nagib ležišta > 15°	Da
Zasićenje ležišta naftom	38,1 %	Temperatura ležišta	60,2 °C	Heterogenost ležišta	Ne
Sastav nafte	Visok udio srednjih frakcija C ₇ -C ₁₂	Propusnost ležišta	50 mD	Salinitet slojne vode	8,13 g/l NaCl
Posebne komponente	Ne	Porozitet ležišta	28,6 %		

Povoljna svojstva nafte i ležišta	EOR metode										
	Utsiskivanje dušika i/ili dimnih plinova u uvjetima miješanja	Utsiskivanje plinovitih ugljikovodika u uvjetima miješaja	Utsiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	Istiskivanje nafte plinovima u nemješljivim uvjetima	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	Sagorijevanje nafte u ležištu	Ciklično utiskivanje pare (huff and puff)	Kontinuirano utiskivanje pare (steam flooding)	SAGD (steam assisted gravity drainage)	MEOR (microbial enhanced oil recovery)
Gustoća nafte na površinskim uvjetima (kg/m ³)	< 850; prosjek 790	< 916; prosjek 820	< 922; prosjek 845	< 986; prosjek 918	< 934; prosjek 850	< 966; prosjek 896	< 1 000; prosjek 959	< 1014; prosjek 968	< 1014; prosjek 968	< 1014; prosjek 968	< 950; prosjek 875
Trenutna viskoznost nafte u ležištu (mPa*s)	< 0,4; prosjek 0,2	< 3; prosjek 0,5	< 10; prosjek 1,5	< 600; prosjek 65	< 35; prosjek 13	< 150; >10	< 5 000; prosjek 1 200	< 200 000; prosjek 4 700	< 200 000; prosjek 4 700	< 200 000; prosjek 4 700	< 50
Sastav nafte (udio pojedinih frakcija i komponenti)	visok udio lakih frakcija C ₁ -C ₇	visok udio lakih frakcija C ₂ -C ₇	visok udio srednjih frakcija C ₇ -C ₁₂	nebitno	visok udio lakih i srednjih frakcija, prisustvo organskih kis.	nebitno	visok udio teških frakcija, prisustvo asfaltena	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno
Trenutno zasićenje ležišta naftom (% pornog volumena)	> 40; prosjek 78	> 30; prosjek 71	> 30; prosjek 46	> 45; prosjek 70	> 35; prosjek 53	> 50; prosjek 64	> 50; prosjek 67	> 40; prosjek 66	> 40; prosjek 66	> 40; prosjek 66	> 50; prosjek 60
Litologija ležišta (pješčanjak / pijesak / karbonat)	pješčanjak ili karbonat	pješčanjak ili karbonat	pješčanjak ili karbonat	nebitno	pješčanjak	pješčanjak	pješčanjak, pijesak ili karbonat	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak ili pijesak	pješčanjak
Efektivna debljina ležišta (m)	< 3, osim u slučaju velikog nagiba sloja ili masivnog ležišta	< 3, osim u slučaju velikog nagiba sloja ili masivnog ležišta	velik raspon povoljnih debljina	nebitno	nebitno	nebitno	> 3	> 6	> 6	> 6	nebitno
Prosječna apsolutna propusnost ležišta (mD)	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	> 10; prosjek 450	> 10; prosjek 800	> 50	> 100; prosjek 2 700	> 100; prosjek 2 700	> 100; prosjek 2 700	> 75; prosjek 190
Prosječni porozitet ležišta (%)	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 11; prosjek 18, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15; prosjek 20, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15; prosjek 20, nebitno u slučaju sek. poroziteta	> 15	> 20	> 20	> 20	> 12; prosjek 19, nebitno u slučaju sek. poroziteta
Dubina ležišta (m)	> 1830	> 1220	> 760	> 550	< 2750; prosjek 1000	< 2750	< 3500; prosjek 1070	< 1220; prosjek 460	< 1220; prosjek 460	< 1220; prosjek 460	< 1055; prosjek 750
Temperatura ležišta (°C)	nebitno	< 121	< 121	nebitno	< 93; prosjek 52	< 93; prosjek 60	> 38; prosjek 57	nebitno	nebitno	nebitno	< 75
Nagib ležišta > 15°	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	povoljno zbog gravitacijskog utjecaja	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno
Heterogenost ležišta	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Sekundarni porozitet nepovoljan	Sekundarni porozitet veoma nepovoljan	Prosljoci lapora veoma nepovoljni	Sekundarni porozitet nepovoljan
Salinitet slojne vode (g/l NaCl)	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	< 100	< 100	nebitno	nebitno	nebitno	nebitno	< 100

nego što se donese odluka o izradi skupih ležišnih studija i numeričkih modela.

3. Tehnički izbor EOR metoda za primjenu na naftni poljima u Hrvatskoj

Tim pregledom obuhvaćene su sve značajnije akumulacije nafte u Hrvatskoj, s izuzetkom prethodno

Tablica 3. Sumarni rezultati tehničkog pregleda primjenljivosti EOR metoda na naftnim poljima proizvodnim regijama Zapadna Hrvatska

EOR objekt (polje, ležište)	EOR metode							Geološke rezerve nafte, 10 ⁶ m ³	Trenutni iscrpak nafte, %
	Utiskivanje plinovitih uglijikovodika u uvjetima miješanja	Utiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	Istiskivanje nafte plinovima u nemješljivim uvjetima	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	Ciklično utiskivanje pare (huff and puff)	Kontinuirano utiskivanje pare (steam flooding)		
Polje Bunjani, ležišta I-II, III, IV, V	dubina ležišta (svojstva nafte, debljina i porozitet ležišta)	porozitet i dubina ležišta	zasićenje naftom, porozitet ležišta	propusnost i porozitet ležišta	propusnost i porozitet ležišta	propusnost i porozitet ležišta (svojstva nafte)	propusnost i porozitet ležišta (svojstva nafte)	4,8	13,0
Polje Dugo Selo, ležište D	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (propusnost ležišta)	propusnost ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom, dubina ležišta)	propusnost ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom, dubina ležišta)	2,9	36,5
Polje Dugo Selo, ležište E	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	zasićenje naftom (propusnost ležišta, temperatura)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (svojstva nafte, dubina ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (svojstva nafte, dubina ležišta)	1,9	36,5
Polje Kloštar, I pješčana serija, HDJ X	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	propusnost ležišta (zasićenje naftom)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom, propusnost ležišta (svojstva nafte, dubina ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (svojstva nafte, dubina ležišta)	2,8	43,6
Polje Kloštar, ležišta α, β, HDJ XXI	svojstva nafte, zasićenje naftom	optimalno	zasićenje naftom	propusnost ležišta, temperatura	viskoznost nafte, zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	2,9	26,0
Polje Kloštar, ležišta Pn, Ms, Tg, HDJ XXIV	svojstva nafte, zasićenje naftom	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	viskoznost nafte, zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	5,5	24,6
Polje Kloštar, ležišta Pn, Ms, Tg, HDJ XXVI	svojstva nafte, zasićenje naftom	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	viskoznost nafte, zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	propusnost i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	1,4	11,1
Polje Šumečani	svojstva nafte, debljina i dubina ležišta (zasićenje naftom)	svojstva nafte, dubina ležišta	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	svojstva nafte (propusnost ležišta)	svojstva nafte, zasićenje naftom (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom, propusnost ležišta	4,4	25,4

Tablica 4. Sumarni rezultati tehničkog pregleda primjenljivosti EOR metoda na naftnim poljima proizvodnim regijama Sjeverna Hrvatska

EOR objekt (polje, ležište)	EOR metode					Geološke rezerve nafte, 10 ⁶ m ³	Trenutni iscrpak nafte, %
	Utiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	Istiskivanje nafte plinovima u nemješljivim uvjetima	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	MEOR (microbial enhanced oil recovery)		
Polje Bilogora ležište F, blok 1	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (dubina ležišta)	3,0	34,1
Polje Bilogora ležište F ₁ , blok 1	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (dubina ležišta)	1,3	37,4
Polje Jagnjedovac, ležište α, blok IV	dubina ležišta	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,1	18,0
Polje Jagnjedovac, ležište B, blok II	dubina ležišta (svojstva nafte)	zasićenje naftom	propusnost ležišta	viskoznost nafte, zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,5	11,0
Polje Šandrovac, ležište E, blok 6.6a, HDJ 4	zasićenje naftom	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	10,7	40,4
Polje Šandrovac, ležište E, blok 42, HDJ 6	optimalno	zasićenje naftom	optimalno	zasićenje naftom (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	3,4	33,5
Polje Šandrovac, ležište F, blok 42, HDJ 2	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (propusnost ležišta)	zasićenje naftom (dubina ležišta)	1,0	29,9

spomenutih naftnih polja Ivanić i Žutica. Preciznije, obuhvaćene su sve hidrodinamičke jedinice (HDJ) s utvrđenim rezervama nafte većim od $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (iznimno je obuhvaćeno i nekoliko manjih ležišta). Za sve spomenute HDJ popisano je 13 kritičnih svojstava ležišta i ležišnih fluida koja su se zatim uspoređivala s kriterijima primjenjivosti svake EOR metode. Ukoliko se pojedino svojstvo ležišta ili fluida nalazilo unutar raspona vrijednosti kriterija određene EOR metode, tada je ćelija na presjeku svojstva i metode obojana zeleno. Kad se svojstvo ležišta ili fluida nalazilo na rubu raspona

vrijednosti kriterija određene EOR metode, tada je ćelija na presjeku obojana žuto. U slučaju kad se svojstvo nalazilo izvan raspona vrijednosti kriterija, ćelija na presjeku obojana je crveno. Za potrebe ovog inicijalnog pregleda izrađen je Visual Basic program u Excelu koji je cijeli proces uvelike automatizirao. Primjer usporedbe karakteristika naftnog ležišta A₁ u tektonskom bloku 3 na polju Stružec s kriterijima pojedinih EOR metoda prikazan je u tablici 2.

Ukoliko je svih 13 svojstava ležišta i ležišnih fluida optimalno zadovoljilo kriterije neke EOR metode (ili su

Tablica 5. Sumarni rezultati tehničkog pregleda primjenljivosti EOR metoda na naftnim poljima proizvodnim regijama Središnja Hrvatska

EOR objekt (polje, ležište)	EOR metode						Geološke rezerve nafte, 10^6 m^3	Trenutni iscrpak nafte, %
	Utiskivanje plinovitih uglikovodika u uvjetima miješanja	Utiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	Istiskivanje nafte plinovima u nemješljivim uvjetima	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	MEOR (microbial enhanced oil recovery)		
Polje Stružec, ležište P ₁ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,8	47,0
Polje Stružec, ležište P ₂ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	4,2	47,0
Polje Stružec, ležište A ₁ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	6,9	47,0
Polje Stružec, ležište A ₂ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	2,5	47,0
Polje Stružec, ležište A ₃ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	2,9	47,0
Polje Stružec, ležište A ₄ , blok 3	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,2	47,0
Polje Stružec, ležište A ₁ , blok 4	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	2,0	47,0
Polje Stružec, ležište A ₃ , blok 4	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,4	47,0
Polje Stružec, ležište A ₁ , blok 9	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,1	47,0
Polje Stružec, ležište A ₁ , blok 11	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta	1,0	47,0
Polje Jamarica, ležište L ₁ , blok 29	debljina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta, temperatura)	zasićenje naftom, dubina ležišta, temperatura	0,8	27,6
Polje Jamarica, ležište L ₁ , blok 38	debljina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	propusnost ležišta (zasićenje naftom, temperatura)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (viskoznost nafte, temperatura)	zasićenje naftom, propusnost i dubina ležišta, temperatura	0,7	37,1
Polje Lipovljani, ležište Kozarica I, blok 24	debljina i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom, propusnost ležišta (viskoznost nafte)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (dubina ležišta)	1,0	33,7
Polje Lipovljani, ležište Lipovljani 1, blok 34	svojstva nafte, zasićenje naftom	zasićenje naftom	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	viskoznost nafte, zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura	propusnost i dubina ležišta, temperatura (zasićenje naftom)	0,6	89,1 ???
Polje Lipovljani, ležište Bujavica, blok 34	debljina i dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom)	optimalno	zasićenje naftom	zasićenje naftom, propusnost ležišta	zasićenje naftom (viskoznost nafte, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost ležišta (dubina ležišta)	1,0	30,4
Polje Kozarica, ležište Kozarica I	svojstva nafte, debljina i dubina ležišta	svojstva nafte	zasićenje naftom	svojstva nafte	optimalno	propusnost ležišta	5,0	10,0

Tablica 6. Sumarni rezultati tehničkog pregleda primjenljivosti EOR metoda na naftnim poljima proizvodnim regijama Istočna Hrvatska

EOR objekt (polje, ležište)	EOR metode							Geološke rezerve nafte, 10 ⁶ m ³	Trenutni iscrpanje nafte, %
	Utiskivanje plinovitih uglikovodika u uvjetima miješanja	Utiskivanje CO ₂ u uvjetima miješanja	micelarno-polimerno, alkalno/PAT/polimerno ili alkalno zavodnjavanje	Polimerno zavodnjavanje	Ciklično utiskivanje pare (huff and puff)	Kontinuirano utiskivanje pare (steam flooding)	MEOR (microbial enhanced oil recovery)		
Polje Bizovac, ležište Bizovac 2	svojstva nafte, zasićenje naftom, prirodne frakture	svojstva nafte, prirodne frakture	litologija, propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture	litologija, propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture (zasićenje naftom)	litologija, propusnost, porozitet i dubina lež. (svojstva naf., zasićenje naftom, prirodne frak.)	litologija, propusnost, porozitet i dubina lež., prirodne frak. (svojstva nafte, zasićenje naf.)	litologija, propusnost i dubina ležišta, temperatura (zasićenje naftom, prirodne frak.)	1,1	25,9
Polje Beničanci, ležište Beničanci	svojstva nafte, zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture	zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture	temperatura, prirodne frakture (zasićenje naftom, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta (svojstva nafte, prirodne frak.)	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta, prirodne frak. (svojstva nafte)	zasićenje naftom, propusnost i dubina ležišta, temperatura (prirodne frakture)	39,8	45,3
Polje Kučanci-Kapelnja, ležište Ladišlavi (E ₁ , F _{1a} , F _{1b})	svojstva nafte (zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture)	svojstva nafte, temperatura, prirodne frakture	temperatura, prirodne frakture (zasićenje naftom, propusnost ležišta)	zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta (svojstva nafte, prirodne frak.)	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta, prirodne frak. (svojstva nafte)	zasićenje naftom, propusnost i dubina ležišta, temperatura (prirodne frakture)	1,8	41,6
Polje Obod Lacići, ležište Lacići-1	svojstva nafte zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture	zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture	propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture (zasićenje naftom)	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta (svojstva nafte, prirodne frak.)	zasićenje naftom, propusnost, porozitet i dubina ležišta, prirodne frak. (svojstva nafte)	zasićenje naftom, propusnost i dubina ležišta, temperatura (prirodne frakture)	2,6	34,9
Polje Obod Lacići, ležište Lacići-1a	svojstva nafte zasićenje naftom, temperatura, prirodne frakture	temperatura, prirodne frakture	propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture (zasićenje naftom)	zasićenje naftom, propusnost ležišta, temperatura, prirodne frakture	propusnost, porozitet i dubina ležišta (svojstva nafte, prirodne frak.)	propusnost, porozitet i dubina ležišta, prirodne frak. (svojstva nafte, zasićenje naftom)	zasićenje naftom, propusnost i dubina ležišta, temperatura (prirodne frakture)	1,6	41,2
Polje Đeletovci, ležište c+i	dubina ležišta (svojstva nafte, zasićenje naftom, prirodne frakture)	svojstva nafte, zasićenje naftom, prirodne frakture	prirodne frakture (zasićenje naftom)	zasićenje naftom, prirodne frakture (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, porozitet lež. (svojstva nafte, propusnost i dubina lež., prirodne f.)	zasićenje naftom, porozitet, prirodne frak. (svojstva nafte, dubina ležišta, propusnost lež.)	zasićenje naftom (dubina ležišta, prirodne frakture)	5,7	41,7
Polje Privlaka, ležište Privlaka	svojstva nafte, dubina ležišta (zasićenje naftom, prirodne frakture)	svojstva nafte, prirodne frakture	prirodne frakture (zasićenje naftom)	zasićenje naftom, prirodne frakture (propusnost ležišta)	zasićenje naftom, porozitet lež. (svojstva nafte, propusnost i dubina lež., prirodne f.)	zasićenje naftom, porozitet, prirodne frak. (svojstva nafte, dubina ležišta, propusnost lež.)	zasićenje naftom (dubina ležišta, prirodne frakture)	1,9	43,0
Polje Privlaka, ležište A ₄	svojstva nafte, dubina ležišta (zasićenje naftom, debljina ležišta)	svojstva nafte	svojstva nafte, zasićenje naftom	zasićenje naftom	debljina ležišta, svojstva nafte, zasićenje naftom, propusnost i dubina	debljina ležišta, svojstva nafte, zasićenje naftom, propusnost i dubina	zasićenje naftom	0,7	20,7

neki od njih nebitni), tada je ta metoda proglašena optimalnom za promatranu HDJ. U slučaju da su se neka svojstva nalazila u rubnom rasponu kriterija EOR metode, tada je ta metoda proglašena uvjetno primjenjivom za promatranu HDJ, što ukazuje na potrebu za dodatnim laboratorijskim ispitivanjima prije prihvatanja/odbacivanja metode. Kada neka svojstva nisu zadovoljavala kriterije EOR metode, tada je metoda proglašena neprimjenjivom za promatranu HDJ.

Rezultati tog pregleda razvrstani su po proizvodnim regijama u Hrvatskoj i prikazani u sažetim tablicama 3-6. Pritom, prikazane su samo HDJ koje su pogodne za neku EOR metodu te metode koje su primjenjive u promatranoj proizvodnoj regiji. Uz tablicu s rezultatima inicijalnog pregleda nalaze se i podaci o utvrđenim rezervama i trenutnom iscrpku analiziranih HDJ.

Čelije u sjecištima redaka s nazivima promatranih HDJ i stupaca s nazivima EOR metoda obojene su ovisno o stupnju kompatibilnosti ležišta i EOR metoda. Zelena boja označava potpuno zadovoljavanje kriterija EOR metode, žuta označava djelomičnu (uvjetnu) kompatibilnost, a crvena nekompatibilnost. Dodatno, u čelijama su navedena svojstva promatrane HDJ koja su nekompatibilna s kriterijima pojedine EOR metode. Podebljana su svojstva koja se nalaze van kriterija, a u zagradi su navedena svojstva koja rubno zadovoljavaju kriterij.

4. Ukupan preostali EOR potencijal u Hrvatskoj i primjenjive EOR metode

Rezultati pregleda primjenljivosti EOR metoda pokazuju da u svakoj proizvodnoj regiji ima mogućnosti neke od tih metoda. Kada se zbroje utvrđene rezerve svih HDJ koje se potencijalno mogu zahvatiti nekom od EOR

metoda (HDJ obojane zeleno i žuto), dobiju se sljedeći rezultati:

- Proizvodna regija Zapadna Hrvatska: 26,6 x 10⁶ m³ nafte
- Proizvodna regija Sjeverna Hrvatska: 33,5 x 10⁶ m³ nafte
- Proizvodna regija Središnja Hrvatska: 22,2 x 10⁶ m³ nafte
- Proizvodna regija Istočna Hrvatska: 59,7 x 10⁶ m³ nafte

S obzirom da su sva velika polja u Hrvatskoj već desetljećima crpljena te spadaju u kategoriju iscrpljenih polja s relativno niskim trenutnim zasićenjem naftom, očito je da će se metode temeljene na povećanju mikroskopske djelotvornosti djelovanja, odnosno mobilizaciji nepokretne nafte, iskristalizirati kao najprimjenjivije. Među njima je dominantna metoda utiskivanja CO₂ u uvjetima miješanja, kao metoda pogodna za najširiji raspon ležišnih uvjeta. Identificirana su 24 kandidata koji optimalno zadovoljavaju kriterije za utiskivanje CO₂ te 12 kandidata koji ih djelomično zadovoljavaju. Glavni kandidati su polje Beničanci te istaknute HDJ na poljima Stružec, Šandrovac i Kloštar s najznačajnijim utvrđenim rezervama nafte. Neke od tih HDJ, s većom dubinom zalijeganja i lakšim naftama, djelomično su pogodna i za utiskivanje plinovitih ugljikovodika u uvjetima miješanja (Beničanci i istaknute HDJ na poljima Kloštar, Obod Lacići i Lipovljani).

Druga EOR metoda po primjenjivosti u Hrvatskoj je alkalno-micelarno-polimerno zavodnjavanje, koja također djeluje na principu povećanja mikroskopske djelotvornosti istiskivanja, no zahtjevnija je po pitanju propusnosti i maksimalne temperature ležišta. Pregledom su izdvojena dva optimalna kandidata (istaknute

HDJ na poljima Kozarica i Šandrovac) te 26 djelomičnih kandidata (istaknute HDJ na poljima Stružec, Šandrovac, Kloštar, Dugo Selo, Bilogora...). Neke od tih HDJ, s višim trenutnim zasićenjem naftom, pogodne su i za čisto polimerno zavodnjavanje (istaknute HDJ na poljima Kozarica, Kloštar, Jagnjedovac, Privlaka i Lipovljani)

Mikrobiološke metode su najmlađe te se mogu smatrati eksperimentalnim metodama, jer im je primjena u svijetu do danas ostala ograničena na pilot projekte. Izdvojeno je šest potencijalnih kandidata koji djelomično zadovoljavaju kriterije: istaknute HDJ na poljima Deletovci, Kozarica, Šandrovac, Privlaka i Jagnjedovac.

Termičke metode utiskivanja pare u ležište zadnje su po primjenjivosti. Razlog tome je što su pogodna ležišta s teškim i viskoznom naftama rijetka pojava u Hrvatskoj. Dodatni razlog je mali broj ležišta s dovoljno visokim trenutnim zasićenjem naftom. Izdvojena su samo 2 djelomična kandidata: polje Šumečani i ležište A₄ na polju Privlaka.

Također je vidljivo da neke od spomenutih EOR metoda, prema inicijalnom pregledu, nisu primjenjive u Hrvatskoj. Utiskivanje dušika i dimnih plinova je metoda utiskivanja plina s najrestriktivnijim kriterijima za postizanje uvjeta miješanja te pregledom nisu pronađeni kandidati koji ih zadovoljavaju. Sagorijevanje nafte u ležištu nije primjenjivo zato što u Hrvatskoj nisu otkrivena polja s ekstremno viskoznom naftom. SAGD (steam-assisted gravity drainage) također nije primjenjiv u Hrvatskoj. Iako postoje djelomični kandidati za klasično utiskivanje pare, oni su karakterizirani prosljocima lapora u ležištu, zbog čega je u njima onemogućeno ključno vertikalno gibanje fluida u ležištu, koje se spontano odvija kod gravitacijske segregacije.

Potrebno je naglasiti da se rezultati analize opisane u prethodna dva poglavlja, odnosno istaknuta naftna polja i HDJ, mogu shvatiti kao konkretni prijedlozi autora za dodatna razmatranja u kontekstu implementacije EOR-a. Ukoliko bude interesa za daljnjim iskorištavanjem preostalog EOR potencijala na području Republike Hrvatske, rad iz ovog članka može se proširiti izradom detaljnijih analiza i studija te ocjena izvodljivosti kroz izvođenje pilot projekata. Pri tome treba imati na umu kako trenutna regulativa propisuje jednaku visinu naknade za eksploataciju na poljima gdje se primjenjuju EOR metode, kao i na svim drugim eksploatacijskim poljima, što utječe na ekonomsku isplativost projekata.

5. Zaključak

Ovaj izrađeni pregled predstavlja tehničku procjenu primjenjivosti EOR metoda na hrvatskim naftnim poljima. Rezultat je definiranje preostalog EOR potencijala u Hrvatskoj, odnosno popis polja i ležišta na kojima je moguća primjena EOR-a te najprimjerenije EOR metode za primjenu na njima. U ovom su koraku također eliminirana sva ležišta i polja koja su nepogodna za primjenu EOR-a i koja neće više biti u fokusu daljnjih razmatranja.

Vidljivo je kako u svakoj hrvatskoj proizvodnoj regiji postoji mogućnost primjene više vrsta EOR metoda.

Utiskivanje CO₂ je najprimjenjivija metoda i njome se mogu zahvatiti HDJ s ukupno 130,9 x 10⁶ m³ početnih utvrđenih rezervi nafte. Iz iskustva primjene ovih EOR metoda u svijetu može se očekivati povećanje iscrpka nafte za 3 - 7%, a u pojedinim slučajevima i više. U Hrvatskoj postoje značajni izvori CO₂, što dodatno ističe tu metodu kao prvi izbor na hrvatskim naftnim poljima. Nakon toga po primjenjivosti slijede kemijske metode pa termičke metode.

Rad u ovom članku predstavlja prvi korak u procesu pokretanja EOR projekta na bilo kojem prostoru. Sljedeći je korak analitička procjena prirasta pridobivih zaliha i proizvodnje nafte uz primjenu EOR-a te prve ekonomske procjene rentabilnosti. Zatim slijedi izrada detaljnih ležišnih studija koje uključuju laboratorijska ispitivanja ležišne stijene i fluida te izradu numeričkih modela s preciznijim prognozama proizvodnje. Nakon toga slijedi provedba pilot projekta, kojim je potrebno potvrditi izvodljivost i pozitivan efekt EOR-a te kalibracija numeričkog modela s rezultatima pilota. U zadnjem koraku, ukoliko se pilot projekt pokaže uspješnim, EOR projekt se proširuje na nivo cijelog polja.

Zahvala

Autori žele zahvaliti referentima analiziranih naftnih polja, ležišnim inženjerima: Božić Lidija, Janjanin Bogdan, Jukić Lucija, Kajba Marina, Kiš Alen, Lazo Ana, Plantić Dubravka, Vučković Vesna, Zornjak Dorian, na pomoći oko pripreme podataka potrebnih za izradu pregleda mogućnosti primjene EOR metoda na naftnim poljima u Hrvatskoj.



Autori:

Nenad Smontara
Vlatko Bilić-Subašić

UDK : 553.982 : 622.276/.279 : 553.28 : 622.24.63 (497.5)

553.982	ležišta ugljikovodika-nafte
622.276/.279	proizvodnja-pridobivanje nafte
553.28	vrste ležišta, osobine ležišta
622.24.63	povećanje iscrpka ležišta
(497.5)	R Hrvatska